

Klaus Neumann

Zahnmedizinische Röntgenaufnahmen bei Senioren

Die Anwendung von Röntgenstrahlen im Rahmen der zahnärztlichen Behandlung von Senioren kann besondere Fragen bezüglich einer möglichen Strahlenschädigung aufwerfen: Sind ältere Menschen einem höheren Strahlenrisiko ausgesetzt? Sind schwerwiegendere Schäden zu erwarten als bei jüngeren Patienten? Spielen die aus klinischen Gründen häufig angefertigten Röntgenuntersuchungen anderer Körperteile eine Rolle? Sind vorangegangene Strahlentherapien von Bedeutung? Die Befürchtung, alte Patientinnen und Patienten könnten durch zahnmedizinische Röntgenaufnahmen stärker geschädigt werden als jüngere, ist allerdings nicht berechtigt. Werden die für alle Patienten geltenden Regelungen des Strahlenschutzes eingehalten, kann die Röntgenuntersuchung auch bei Senioren ohne besondere weitere Maßnahmen durchgeführt werden.

Regelungen des Strahlenschutzes

Die Anwendung von Röntgenstrahlen am Menschen wird in Deutschland zurzeit noch durch die Röntgenverordnung (Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen; RöV) geregelt¹³. Gemäß der europäischen Richtlinie 2013/59/EURATOM vom

05.12.2013 waren die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union gefordert, bis zum 06.02.2018 neue Rechtsnormen für den Strahlenschutz zu schaffen¹¹, und in Deutschland wurde deshalb das „Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“ erlassen⁷. Das darin als Artikel 1 formulierte „Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“ (Strahlenschutzgesetz; StrlSchG) tritt allerdings in den Teilen, die für die Röntgendiagnostik relevant sind, erst am 31.12.2018 in Kraft. Die Vorschriften des neuen Strahlenschutzgesetzes für die Röntgendiagnostik unterscheiden sich nicht substantiell von den Vorgaben der RöV.

In der RöV ist der Grundsatz des Strahlenschutzes, das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable), verankert. Dieses Prinzip besagt, dass Untersuchungen mit Röntgenstrahlen am Menschen nur dann durchgeführt werden dürfen, wenn sie für die Behandlung des Patienten erforderlich sind (rechtfertigende Indikation), wenn es kein alternatives Verfahren mit geringerer Dosis oder ohne Strahlenexposition gibt (Vermeidungsgebot) und wenn die Dosis der Untersuchung auf das für eine ausreichende diagnostische Aussagekraft nötige Maß reduziert wird (Optimierung).

Werden die oben genannten Bedingungen eingehalten, gibt es bezüglich

des Patientenalters in rechtlicher Hinsicht keine Einschränkungen für die diagnostische Anwendung von Röntgenstrahlen.

Biologische Wirkungen von Röntgenstrahlen

Ionisierende Strahlen können bei biologischen Organismen, speziell beim Menschen, unterschiedliche schädigende Wirkungen entfalten. Man unterscheidet dabei deterministische von stochastischen Strahlenschäden. Deterministische Schädigungen treten auf, wenn die Strahlendosis einen bestimmten Schwellenwert überschreitet und Körperzellen absterben oder Funktionsverluste erleiden (z. B. Hautrötungen, Haarausfall). Je höher die Strahlendosis ist, desto schwerer ist der Strahlenschaden. In der normalen Röntgendiagnostik werden die Schwellenwerte in der Regel nicht erreicht, sodass von Röntgenaufnahmen oder auch von Computertomographien keine deterministischen Schäden bei den Patienten zu erwarten sind.

Stochastische Strahlenschäden treten auf, wenn es durch die Strahlung zu Mutationen der DNA der Körper- oder Keimzellen kommt. Bei Körperzellen ist die Folge der Strahlenwirkung die Induktion maligner Erkrankungen, bei den Keimzellen kann es theoretisch zu

Tab. 1 Altersabhängige relative Risikofaktoren für das Auftreten einer strahleninduzierten Krebserkrankung⁶.

Alter zum Zeitpunkt der Exposition [Jahre]	Multiplikationsfaktor für das Risiko
< 10	3
10–20	2
20–30	1,5
30–50	0,5
50–80	0,3
> 80	vernachlässigbares Risiko

Erbschäden der Nachkommen kommen, was beim Menschen allerdings noch nie eindeutig beobachtet wurde. Ein Schwellenwert für das Eintreten der Schädigung existiert bei stochastischen Strahlenschäden nicht. Die Höhe der Strahlendosis bestimmt nicht die Schwere des Schadens, sondern die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens, das sogenannte Schadensrisiko. Da der Organismus durch die natürlichen biologischen Reparaturmechanismen in gewissem Maße in der Lage ist, DNA-Veränderungen zu beheben, muss nicht jede Strahleneinwirkung zu einer bleibenden Schädigung führen. Wenn die Strahlendosis in kurzer Zeit auf die Zellen wirkt und viele Zellen gleichzeitig geschädigt werden, können die Mutationen durch eine unzureichende oder fehlerhafte Reparatur der DNA allerdings nicht vollständig rückgängig gemacht werden. Verteilt sich die gleiche Gesamtdosis über einen längeren Zeitraum, haben die getroffenen Zellen mehr Zeit, sich zu regenerieren, und der Schaden tritt mit geringerer Wahrscheinlichkeit ein. Deshalb ist nicht allein die Höhe der applizierten Dosis, sondern auch die zeitliche Verteilung der Strahleneinwirkung (Fraktionierung) von Bedeutung⁴. Es ist also nicht sinnvoll, die Strahlendosen von Untersuchungen, die in zeitlichen Abständen erfolgen, einfach aufzuaddieren.

Latenzzeit

Zwischen der Strahleneinwirkung und dem Eintritt des stochastischen Strahlenschadens, also der Entstehung einer malignen Erkrankung, vergehen in der Regel Jahre bis Jahrzehnte (Latenzzeit). Die kürzesten Latenzzeiten werden mit zwei bis drei Jahren für strahlenbedingte Leukämien und Schilddrüsenkarzinome bei Strahlenexposition im Kindesalter angegeben². Viele strahlenbedingte Leukämien treten in den ersten beiden Dekaden nach der Exposition auf. Bei soliden Karzinomen und Strahleneinwirkung im Erwachsenenalter sind die Latenzzeiten länger, sie betragen im Minimum etwa zehn Jahre bis hin zu mehreren Jahrzehnten nach Exposition⁹.

Altersabhängigkeit des Strahlenrisikos

Aus Langzeitstudien an den Atombombenopfern von Hiroshima und Nagasaki konnte ermittelt werden, dass sich das Risiko, eine strahleninduzierte Krebserkrankung zu erleiden, vergrößert, je jünger der Mensch zum Zeitpunkt der Strahleneinwirkung ist¹⁰. Die Europäische Kommission gibt in den „European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology“ al-

tersabhängige relative Lebenszeit-Risikofaktoren an, wobei für das Alter von 30 Jahren ein relatives Risiko von 1 festgelegt wird (Tab. 1)⁶.

Jenseits des Lebensalters von 80 Jahren ist das Strahlenrisiko demnach zu vernachlässigen, weil die Latenzzeit zwischen der Strahlenexposition und dem klinischen Auftreten der malignen Erkrankung die Lebenserwartung des Patienten mit hoher Wahrscheinlichkeit überschreitet. Durch Strahlung verursachte Erbschäden sind beim alten Patienten nicht zu erwarten.

Messung der Strahlendosis und Strahlenrisiko

Für die Angabe der Strahlendosis, die ein Patient durch eine Untersuchung mit Röntgenstrahlen erhält, existieren verschiedene Dosisgrößen. Die gebräuchlichste Dosisangabe ist die effektive Dosis. Ihre Einheit ist das Sievert [Sv]. Die effektive Dosis ist ein für jede Untersuchung modellhaft berechneter Wert, in den die Menge der den Körper treffenden Strahlung der Untersuchung, die Verteilung der Strahlung im Körper (genauer: in einem mathematischen Körpermodell) und die Strahlenempfindlichkeit der getroffenen Organe einfließen. Mithilfe der effektiven Dosis lassen sich Untersuchungen hinsichtlich des durch sie verursachten stochastischen Strahlenrisikos für den Patienten direkt vergleichen. Ist die effektive Dosis einer Röntgenuntersuchung beispielsweise halb so groß wie die effektive Dosis einer anderen Röntgenuntersuchung, so ist das Strahlenrisiko der ersten Untersuchung auch nur halb so groß wie das Risiko der anderen Untersuchung.

Die Abschätzung des individuellen absoluten Risikos eines Patienten durch eine Röntgenuntersuchung ist allerdings schwierig. Nach Angabe der Internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on

Radiological Protection; ICRP) beträgt das absolute Risiko für einen stochastischen Strahlenschaden nach einer Exposition mit einer kleinen Dosis (< 100 mSv) etwa 5 % pro Sievert¹². Dies bedeutet, dass von 100 Menschen, die eine zusätzliche Dosis von 1 Sv (= 1.000 mSv) Ganzkörperbestrahlung erhalten, fünf an einem strahleninduzierten Malignom erkranken. Da die effektive Dosis nicht die „echte“ Dosis des Patienten wiedergibt, lässt sich mit ihr nur sehr grob das individuelle Risiko des Patienten abschätzen. Wegen der großen epidemiologischen und wissenschaftlichen Unsicherheiten bei der Risikoabschätzung hält die ICRP es zudem nicht für sinnvoll, „[...] die hypothetische Zahl von Krebsfällen [...], die mit sehr niedrigen Strahlendosen assoziiert sein können, die viele Menschen über sehr lange Zeitspannen erhalten können, zu berechnen“¹.

Nach dem Risikomodell der ICRP ergäbe sich für eine einzelne Zahnaufnahme mit einer effektiven Dosis von weniger als 0,01 mSv (= 0,00001 Sv) ein Risiko von weniger als $0,05/Sv \times 0,00001 Sv = 0,0000005$ oder 0,5:1 Million. Selbst unter Berücksichtigung der geschilderten Unsicherheiten wäre dieses zusätzliche Krebsrisiko angesichts der spontanen Krebsinzidenz vernachlässigbar klein.

Die effektiven Dosiswerte einer speziellen radiologischen Untersuchung unterliegen einer gewissen Variationsbreite. Sie hängt von der angewendeten Technik (analog/digital), vom verwendeten Gerät und von untersuchungsspezifischen Merkmalen (z. B. Bildgröße bzw. Untersuchungsbereich, Körpermaße des Patienten, Strahlenschutzmaßnahmen) ab. Besonders für die digitale Volumentomographie (DVT) werden stark differierende Dosiswerte angegeben, die heute in der Praxis tatsächlich zu erwartenden Dosiswerte dürften weit im unteren Bereich der Spanne liegen¹⁴. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der Bereiche ef-

Tab. 2 Bereiche der Strahlendosis unterschiedlicher radiologischer Untersuchungen^{3,5,6,8,14}. Die angegebenen Dosiswerte sind Schätzungen, die wirkliche effektive Dosis einer Untersuchung kann im Einzelfall davon abweichen.

Untersuchung	Effektive Dosis [mSv]
Zahnaufnahme	0,001–0,008
Fernröntgenseitenaufnahme Schädel	0,002–0,003
Panoramaschichtaufnahme	0,004–0,03
Röntgenaufnahme Nasennebenhöhlen	0,01–0,03
Röntgenaufnahme Thorax (1 Ebene)	0,02–0,04
DVT Kiefer	0,01–1
Dental-CT	0,1–3
CT Nasennebenhöhlen (low dose)	0,1
CT Hirnschädel	1–3
CT Hals	3
CT Thorax	4–7
CT Abdomen	8–20

DVT = digitale Volumentomographie; CT = Computertomographie

fektiver Dosen ausgewählter radiologischer Untersuchungen^{3,5,6,8,14}.

Die Strahlendosen, die in der Strahlentherapie angewendet werden (in der Regel Gesamttumordosen zwischen 40 und 70 Gy), liegen um ein so großes Vielfaches höher als die Dosen der radiologischen Untersuchungen, dass letztere bei strahlentherapeutisch behandelten Patienten keine merkbare Erhöhung des Strahlenrisikos bedeuten.

Strahlenschutzmaßnahmen

Die effektive Dosis, und damit das Strahlenrisiko einer Untersuchung, hängt auch von den angewendeten Strahlenschutzmaßnahmen ab. Als einfachste und effektivste Maßnahme bei radiologischen Untersuchungen im Kopf-Hals-Bereich ist das Anlegen eines Schilddrüsenschutzes zu nennen. Die Schilddrüse ist in der Kopf-Hals-Region eines der strahlenempfindlichsten Organe und trägt wesentlich zum Strahlenrisiko bei. Da-

her sollte neben der Röntgenschürze, die der Patient obligatorisch während der Untersuchung anzieht, unabhängig vom Alter des Patienten auch ein Schilddrüsenschutz verwendet werden, sofern dadurch die Bildqualität nicht beeinträchtigt wird und dies bei der Untersuchung möglich ist.

Fazit

Radiologische Untersuchungen aus zahnmedizinischer Indikation können auch beim alten Patienten ohne weitere Einschränkungen durchgeführt werden, sofern die für diagnostische Strahlenanwendungen geforderten Bedingungen erfüllt werden (rechtfertigende Indikation, keine strahlungsärmere oder strahlungsfreie Alternative, optimale Strahlenschutzmaßnahmen).

Gerade beim alten Menschen ist das Strahlenrisiko in der Zahnmedizin im Vergleich zum jüngeren Patienten eher weniger kritisch einzuschätzen, weil zwischen der Strahleneinwirkung

und dem möglichen Auftreten eines Strahlenschadens eine lange Latenzzeit liegt und das Risiko für das Erleben eines Strahlenschadens im Alter abnimmt. Eine „Aufsummierung“ der Strahlenrisiken durch bereits früher erfolgte Untersuchungen ist nicht anzunehmen. Die Strahlendosen bei zahnmedizinisch begründeten Unter-

suchungen weisen gegenüber Untersuchungen aus anderen Fragestellungen (allgemeinmedizinischen, onkologischen, chirurgischen u. ä.) außerdem nur eine vergleichbar geringe Dosis auf. Auch eine bereits erfolgte oder gerade stattfindende Strahlentherapie ist kein Grund, dem Patienten eine erforderliche radiologische Untersu-

chung zu versagen. Im Gegenteil bleibt festzuhalten, dass eine adäquate zahnmedizinische Behandlung die Lebensqualität des alten Patienten erhöht und seine Lebenserwartung soweit steigert, dass das damit eventuell verbundene verschwindend geringe Strahlenrisiko bedeutungslos ist.

Literatur

1. Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.). Die Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007, ICRP-Veröffentlichung 103, Deutsche Ausgabe 2009. https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2009082154/1/BfS_2009_BfS-SCHR-47-09.pdf. Letzter Zugriff: 25.06.2018.
2. Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.). Ionisierende Strahlung – Krebs und Leukämie. 21.03.2017. <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/krebs/einfuehrung/einfuehrung.html>. Letzter Zugriff: 25.06.2018.
3. Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.). Röntgen: Nutzen und Risiko mit Röntgenpass.2015. http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/bro-roentgen-nutzen-risiko.pdf?__blob=publicationFile&v=8. Letzter Zugriff: 25.06.2018.
4. Bundesamt für Strahlenschutz (Hrsg.). Strahlung – Strahlenschutz. Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz. 2004. http://www.apug.de/archiv/pdf/BfS_Broschuere_Strahlenschutz.pdf. Letzter Zugriff: 25.06.2018.
5. Cohnen M (Hrsg.). Kopf-Hals-Radiologie, Stuttgart: Georg Thieme, 2012.
6. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport (Hrsg.). European Guidelines on Radiation Protection in Dental Radiology. Radiation Protection Issue No 136. Luxemburg 2004. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/136_0.pdf. Letzter Zugriff: 25.06.2018.
7. Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 27. Juni 2017 (BGBl. 2017 I Nr. 42, S. 1966). https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl117s1966.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F%5B%40attr_id%3D%27bgbl117s1966.pdf%27%5D__1530653280773. Letzter Zugriff: 09.07.2018.
8. Kösling S, Bootz F (Hrsg.). Bildgebung HNO-Heilkunde. Berlin Heidelberg: Springer, 2010.
9. Linet MS, Slovis TL, Miller DL, Kleinerman R, Lee C, Rajaraman P, Berrington de Gonzalez A. Cancer Risks Associated with External Radiation From Diagnostic Imaging Procedures. *CA Cancer J Clin* 2012;62:75–100.
10. Osaza K, Shimizu Y, Suyama A et al. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1959–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases. *Radiation Research* 2012;177:229–243.
11. Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 05. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom. *Amtsblatt der Europäischen Union* L13/1 vom 17.1.2014. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32013L0059>. Letzter Zugriff: 09.07.2018.
12. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP* 2007; 37:2–4. <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. Letzter Zugriff: 09.07.2018.
13. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung – RöV). 30. April 2003 (BGBl. I 2003 Nr. 17, S. 604). Zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I 2014 Nr. 58, S. 2010). https://www.bfe.bund.de/SharedDocs/Downloads/BfE/DE/rsh/1a-atomrecht/1A-14-RoeV.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Letzter Zugriff: 09.07.2018.
14. Währisch KA. Vergleich der Strahlenbelastung von konventionellen orthodontischen Röntgenaufnahmen mit konventionellen und indikationsabhängigen dosisreduzierten digitalen Volumentomographien. Dissertation. Medizinische Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin, 11.12.2015. http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_000000017765/Diss_K.Waehrisch.pdf. Letzter Zugriff: 25.06.2018.

Autor

Dipl.-Phys. Dr. med. Klaus Neumann
 Arzt für Radiologie, Medizinphysik-Experte
 Radiologische Praxis im Klinikum Bernau
 Ladeburger Straße 17
 16321 Bernau
 E-Mail: k.neumann@radiologie-bernaue.de

